

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-023010

(43)Date of publication of application : 24.01.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/3205

G01R 31/26

G01R 31/28

(21)Application number : 2001-209522

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 10.07.2001

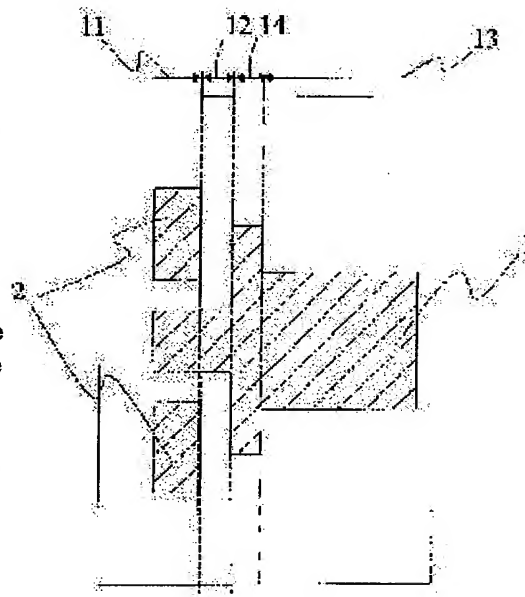
(72)Inventor : OKUMICHI TAKEHIRO

## (54) PROBING PAD FOR HIGH FREQUENCY

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To overcome the problem that since the shape a contact section of a probing pad for high frequency with a wafer probe is restricted, mismatching of characteristic impedance occurs, leading to an increase in reflection of signals and insufficient propagation of a high-frequency signal.

**SOLUTION:** In the probing pad for high frequency, a signal conductor 1 formed on a dielectric substrate comprises a pad section 11 which is formed with grounding conductors 2 on both sides and with which the wafer probe is to be brought into contact, a lead-out line section 13 led out from an object to be measured, a matching line section 14 provided on the pad section 11 side, and a connection line section 12 for connecting the pad section 11 and the matching line section 14. K characteristic impedance of the pad section 11 is set larger than that of the wafer probe, while a characteristic impedance of the matching line section 14 is set smaller than that of the wafer probe; and an electrical length of the connection line section 12 and the matching line section 14 combined is set 0.16 times as large as a free space wavelength of a high-frequency signal which has the maximum frequency to be adopted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-23010

(P2003-23010A)

(43) 公開日 平成15年1月24日 (2003.1.24)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 21/3205		G 0 1 R 31/26	J 2 G 0 0 3
G 0 1 R 31/26		H 0 1 L 21/88	T 2 G 1 3 2
31/28		G 0 1 R 31/28	U 5 F 0 3 3

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-209522(P2001-209522)

(22) 出願日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地

(72) 発明者 奥道 武宏

京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地3号

京セラ株式会社中央研究所内

Fターム(参考) 2G003 AA07 AA10 AB06 AE03 AG04

AG08

2G132 AA00 AA20 AB01 AC09 AD03

AK04 AL18 AL19

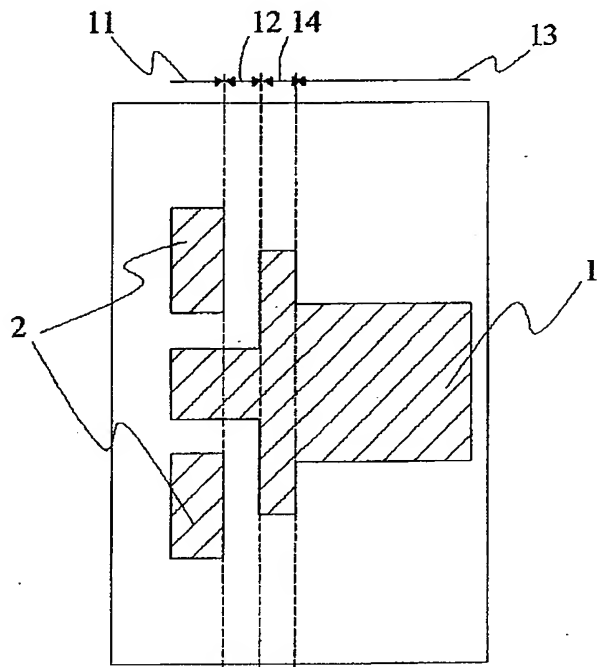
5F033 HH00 MM17 VV07 VV12 XX37

(54) 【発明の名称】 高周波用プロービングパッド

(57) 【要約】

【課題】 高周波用プロービングパッドのウェハプローブとの接触部の形状が制限されるため、特性インピーダンスの不整合が生じ、信号の反射が増大し、高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点があった。

【解決手段】 誘電体基板上に形成した信号導体1が、両側に接地導体2が形成されたウェハプローブを接触させるパッド部11と、被測定物から引き出された引き出し線路部13と、そのパッド部11側に設けられた整合線路部14と、パッド部11と整合線路部14との間を接続する接続線路部12とから構成されており、パッド部11の特性インピーダンスをウェハプローブよりも大きく、整合線路部14の特性インピーダンスをウェハプローブよりも小さくするとともに、接続線路部12と整合線路部14とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下とした高周波用プロービングパッドである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 誘電体材料から成る基板の下面に下面接地導体を形成するとともに上面に前記下面接地導体に対向させて信号導体を形成して成り、該信号導体は、その両側に接地導体が形成されて前記信号導体および前記接地導体にコプレーナ線路構造のウェハブローブの信号導体および接地導体をそれぞれ接触させるパッド部と、被測定物から電氣的に接続されて引き出された引き出し線路部と、前記引き出し線路部の前記パッド部側に設けられた整合線路部と、前記パッド部の前記信号導体と前記整合線路部との間を電氣的に接続する接続線路部とから構成されており、かつ前記パッド部の特性インピーダンスを前記ウェハブローブよりも大きく、前記整合線路部の特性インピーダンスを前記ウェハブローブよりも小さくするとともに、前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下としたことを特徴とする高周波用ブローピングパッド。

【請求項2】 前記パッド部の特性インピーダンスと前記整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を前記引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.95以上1.07以下であることを特徴とする請求項1記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項3】 前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下であることを特徴とする請求項2記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項4】 前記接地導体を前記接続線路部および前記整合線路部の両側にそれぞれ延在させたことを特徴とする請求項1記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項5】 前記パッド部の特性インピーダンスと前記整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を前記引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.90以上1.02以下であることを特徴とする請求項4記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項6】 前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下であることを特徴とする請求項5記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項7】 前記基板の上面に前記信号導体および前記接地導体を覆って誘電体材料から成る誘電体膜を形成するとともに、前記パッド部の前記信号導体および前記接地導体上の前記誘電体膜に、前記ウェハブローブの信号導体および接地導体を接触させるための誘電体膜非形成領域を設けたことを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の高周波用ブローピングパッド。

【請求項8】 前記誘電体膜の誘電率が前記基板の誘電率よりも大きいことを特徴とする請求項7記載の高周波用ブローピングパッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体素子や半導体素子収納用パッケージ・回路基板についてのマイクロ波帯あるいはミリ波帯といった高周波における電氣的特性の測定に使用される高周波用ブローピングパッドに関し、特にウェハブローブを接触させるパッド部における反射特性を改善した低反射特性の高周波用ブローピングパッドに関する。

【0002】

10 【従来の技術】マイクロ波帯あるいはミリ波帯といった高周波帯域における半導体素子や半導体素子収納用パッケージ・回路基板についての電氣的特性の測定評価においては、測定器側には、コプレーナ線路構造を有し、測定物との接触により高精度測定を可能としたウェハブローブが用いられる。一方、測定物側にはこのウェハブローブを接触させて測定を行なうための高周波用ブローピングパッドが形成されて用いられる。

20 【0003】この高周波用ブローピングパッドは、誘電体基板上に信号導体および接地導体が形成されて成り、その形状や寸法は、ウェハブローブの信号導体および接地導体との電氣的接続のために要求される接触部の形状が制限された条件において製造可能な範囲で設定される。そのため、用いる基板の誘電率や信号導体および接地導体の形状によっては、ブローピングパッドの特性インピーダンスがウェハブローブの特性インピーダンスに整合しない場合が生じることがあった。

30 【0004】例えば、高周波用ブローピングパッドについて、比誘電率が3.4で厚みが0.20mmの誘電体基板の下面のほぼ全面に導体を形成して下面接地導体とし、上面に導体厚みが10 $\mu$ mで幅が0.20mmの信号導体およびこの信号導体の両側に0.10mmの間隔を空けて接地導体を形成することでウェハブローブが要求する寸法に対応させたパッド部の特性インピーダンスは65 $\Omega$ となる。一方、これに対応するウェハブローブの特性インピーダンスは50 $\Omega$ である。このため、ウェハブローブが要求する寸法に対応させたパッド部における伝送線路の特性インピーダンスは、ウェハブローブの特性インピーダンスに対して大きく、ウェハブローブとの特性インピーダンスの整合が実現できていないこととなる。

40 【0005】このような場合、従来のパッド部と引き出し線路との接続においては、その間を線路幅を直線的に変化させた伝送線路で接続することにより高周波用ブローピングパッドを構成していた。

50 【0006】例えば、図4に従来の高周波用ブローピングパッドの構造の例を平面図で示すように、比誘電率が3.4で厚みが0.20mmの誘電体基板の下面のほぼ全面に導体を形成して下面接地導体とし、上面に導体厚みが10 $\mu$ mで幅が0.20mmの信号導体1および信号導体1の両側に0.10mmの間隔を空けて接地導体2を形成することでウェハブローブが要求する寸法に対応したパッド部11

と、導体厚みが $10\mu\text{m}$ で信号導体1の幅を $0.45\text{mm}$ とした引き出し線路部13と、パッド部11と引き出し線路部13との間を信号導体1と接地導体2との間隔を $0.1\text{mm}$ 確保して $45^\circ$ の角度にて直線的に接続した接続部12とから構成して、ブローピングパッドとする。この従来の高周波用ブローピングパッドの電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出すると、図10に線図で示すような周波数特性の特性曲線が得られる。

【0007】図10において、横軸は周波数（単位：GHz）、縦軸は入力した高周波信号の内の反射された量の評価指標としての反射係数（単位：dB）を示しており、特性曲線は反射係数の周波数特性を示している。この結果から、周波数が高くなると反射係数が大きくなり、特性インピーダンスの不整合による反射が生じていることが分かる。したがって、この場合は、反射が比較的小さい低周波帯域においてのみ使用可能であることが分かる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような従来の高周波用ブローピングパッドにおいては、誘電体基板上に形成した信号導体および接地導体から成るブローピングパッドが、ウェハブロープの信号導体および接地導体との電気的接続のために要求される、接触部の形状が制限された条件において製造可能な範囲で設定されるために、ウェハブロープとの間で特性インピーダンスの不整合が生じることとなり、その結果、入射信号に対して反射が増大してしまい、特に周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となって高周波特性の正確な測定ができなくなってしまうという問題点があった。

【0009】本発明は上記従来技術における問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、ブローピングパッドの形状設定に制限がある場合においても、高周波においてもウェハブロープとのインピーダンス整合を行なうことが可能で、高周波特性の正確な測定が可能な高周波用ブローピングパッドを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の高周波用ブローピングパッドは、誘電体材料から成る基板の下面に下面接地導体を形成するとともに上面に前記下面接地導体に対向させて信号導体を形成して成り、この信号導体は、その両側に接地導体が形成されて前記信号導体および前記接地導体にコプレーナ線路構造のウェハブロープの信号導体および接地導体をそれぞれ接触させるパッド部と、被測定物から電気的に接続されて引き出された引き出し線路部と、前記引き出し部の前記パッド部側に設けられた整合線路部と、前記パッド部の信号導体と前記整合線路部との間を電気的に接続する接続線路部とから構成されており、かつ前記パッド部の特性インピーダンスを前記ウェハブロープよりも大きく、前記整合線路

部の特性インピーダンスを前記ウェハブロープよりも小さくするとともに、前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の $0.16$ 倍以下としたことを特徴とするものである。

【0011】また、本発明の第2の高周波用ブローピングパッドは、上記第1の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記パッド部の特性インピーダンスと前記整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を前記引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が $0.95$ 以上 $1.07$ 以下であることを特徴とするものである。

【0012】さらに、本発明の第3の高周波用ブローピングパッドは、上記第2の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の $\frac{8}{10}$ 以下であることを特徴とするものである。

【0013】また、本発明の第4の高周波用ブローピングパッドは、上記第1の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記接地導体を前記接続線路部および前記整合線路部の両側にそれぞれ延在させたことを特徴とするものである。

【0014】また、本発明の第5の高周波用ブローピングパッドは、上記第4の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記パッド部の特性インピーダンスと前記整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を前記引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が $0.90$ 以上 $1.02$ 以下であることを特徴とするものである。

【0015】さらに、本発明の第6の高周波用ブローピングパッドは、上記第5の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記接続線路部と前記整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の $\frac{8}{10}$ 以下であることを特徴とするものである。

【0016】さらに、本発明の第7の高周波用ブローピングパッドは、上記の第1乃至第6のいずれかの高周波用ブローピングパッドにおいて、前記基板の上面に前記信号導体および前記接地導体を覆って誘電体材料から成る誘電体膜を形成するとともに、前記パッド部の前記信号導体および前記接地導体上の前記誘電体膜に、前記ウェハブロープの信号導体および接地導体を接触させるための誘電体膜非形成領域を設けたことを特徴とするものである。

【0017】さらに、本発明の第8の高周波用ブローピングパッドは、上記第7の高周波用ブローピングパッドにおいて、前記誘電体膜の誘電率が前記基板の誘電率よりも大きいことを特徴とするものである。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の第1の高周波用ブローピングパッドによれば、誘電体材料から成る基板の下面に

下面接地導体を形成するとともに上面に下面接地導体に対向させて信号導体を形成して成り、この信号導体は、その両側に接地導体が形成されて信号導体および接地導体にコプレーナ線路構造のウェハブローブの信号導体および接地導体をそれぞれ接触させるパッド部と、被測定物から電氣的に接続されて引き出された引き出し線路部と、引き出し部のパッド部側に設けられた整合線路部と、パッド部の信号導体と整合線路部との間を電氣的に接続する接続線路部とから構成されており、かつパッド部の特性インピーダンスをウェハブローブよりも大きく、整合線路部の特性インピーダンスをウェハブローブよりも小さくするとともに、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下としたことから、ウェハブローブから見て最高周波数の高周波信号の自由空間波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することでその相互作用によりウェハブローブから見た特性インピーダンスを整合させることが可能となるので、その結果、入射信号に対して反射が増大するという問題点や、周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点を解決することができる。

【0019】このような本発明の高周波用ブローピングパッドにおいて、信号導体の幅や長さあるいは信号導体と接地導体との間隔は、パッド部・接続線路部・引き出し線路部および整合線路部において、パッド部ではウェハブローブのブローピングが可能であるとともに作製上の困難がない範囲で設定するが、その特性インピーダンスはウェハブローブの特性インピーダンスよりも大きい範囲でなるべくそれに近づくようにすることで、インピーダンス整合を行なうための整合線路部の特性インピーダンスはウェハブローブの特性インピーダンスに近づいていくこととなり、またパッド部と整合線路部および引き出し線路部の特性インピーダンスの不連続性が小さくなっていくために、インピーダンス整合がより確実に行なわれる上、接続線路部の長さを短くすることとなり、さらに適用可能な周波数が高くなることとなるために、パッド部の特性インピーダンスの設定においては前述の設定とすることが望ましい。

【0020】なお、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍を超えると、高周波信号にとってその長さのインピーダンスの不連続性が不要な回路素子として働き、インピーダンス整合が困難となる傾向がある。

【0021】また、整合線路部の特性インピーダンスはパッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.95以上1.07以下であるように設定するとよい。

【0022】本発明の第2の高周波用ブローピングパッドによれば、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.95以上1.07以下であるものとしたときには、インピーダンス整合に必要な素子値の近傍に整合線路部の特性インピーダンスを維持することができるため、特性インピーダンスの整合が確実になされるので、より低反射特性の高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0023】なお、この値が0.95未満となると、整合線路部の特性インピーダンスが低くなりすぎるためにインピーダンス整合に必要な素子値からはずれ、高周波になるにつれて整合が不十分となる傾向があり、他方、1.02を超えると、従来の高周波用ブローピングパッドの形状に近づくためにインピーダンス整合の効果が小さくなってしまおうという傾向がある。

【0024】さらに好適には、整合線路部の特性インピーダンスを前記の好適な範囲に設定した場合に、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下にするとよい。

【0025】本発明の第3の高周波用ブローピングパッドによれば、第2の高周波用ブローピングパッドにおいて、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下であるものとしたときには、適用される最高周波数においてもその長さのインピーダンスの不連続性はインピーダンス整合として働き、不要な回路素子として見えることがなくなる傾向があり、より確実にインピーダンス整合を行なうことができる高周波用ブローピングパッドとなる。

【0026】また、本発明の第4の高周波用ブローピングパッドによれば、第1の高周波用ブローピングパッドにおいて、パッド部の信号導体の両側に形成された接地導体を接続線路部および整合線路部の信号導体の両側に延在させたことから、第1の高周波用ブローピングパッドと同様に、ウェハブローブから見て最高周波数の高周波信号の自由空間波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することでその相互作用によりウェハブローブから見た特性インピーダンスを整合させることが可能となるので、その結果、入射信号に対して反射が増大するという問題点や、周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点を解決することができる。

【0027】このような本発明の第4の高周波用ブローピングパッドにおいても、信号導体の幅や長さあるいは信号導体と接地導体との間隔は、パッド部・接続線路部・引き出し線路部および整合線路部において、パッド部はウェハブローブのブローピングが可能であるとともに

作成上の困難がない範囲で設定するが、その特性インピーダンスはウェハプローブの特性インピーダンスよりも大きい範囲でなるべくそれに近づくようにすることで、インピーダンス整合を行なうための整合線路部の特性インピーダンスはウェハプローブの特性インピーダンスに近づいていくこととなり、パッド部と整合線路部および引き出し線路部の特性インピーダンスの不連続性が小さくなっていくために、インピーダンス整合がより確実に行なわれる上、接続線路部の長さを短くすることとなり、適用可能な周波数が高くなることとなるために、パ

10 ッド部の特性インピーダンスの設定においては前述の設定とすることが望ましい。  
【0028】なお、この第4の高周波用ブローピングパッドにおいても、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍を超えると、高周波信号にとってその長さのインピーダンスの不連続性が不要な回路素子として働き、インピーダンス整合が困難となる傾向がある。

【0029】また、本発明の第4の高周波用ブローピングパッドにおいては、整合線路部の特性インピーダンス

20 は、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.90以上1.02以下であるように設定するとするとよい。  
【0030】本発明の第5の高周波用ブローピングパッドによれば、第4の高周波用ブローピングパッドにおいて、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.90以上1.02以下であるものとしたときには、インピーダンス整合に必要な

30 素子値の近傍に整合線路部の特性インピーダンスを維持することができるため、特性インピーダンスの整合が確実になされるので、より低反射特性の高周波用ブローピングパッドとすることができる。  
【0031】なお、この値が0.90未満となると、整合線路部の特性インピーダンスが低くなりすぎるためにインピーダンス整合に必要な素子値からはずれ、高周波にな

40 るにつれて整合が不十分となる傾向があり、他方、1.02を超えると、従来の高周波用ブローピングパッドの形状に近づくためにインピーダンス整合の効果が小さくなってしまう傾向がある。  
【0032】さらに好適には、整合線路部の特性インピーダンスを前記の好適な範囲に設定した場合に、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下にするとよい。

【0033】本発明の第6の高周波用ブローピングパッドによれば、第5の高周波用ブローピングパッドにおいて、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分

の1以下であるものとしたときには、適用される最高周波数においてもその長さのインピーダンスの不連続性はインピーダンス整合として働き、不要な回路素子として見えることがなくなる傾向があり、より確実にインピーダンス整合を行なうことができる高周波用ブローピングパッドとなる。

【0034】本発明の第7の高周波用ブローピングパッドによれば、第1乃至第6のいずれかの高周波用ブローピングパッドにおいて、基板の上面に信号導体および接地導体を覆って誘電体材料から成る誘電体膜を形成するとともに、パッド部の信号導体および接地導体上の誘電体膜に、ウェハプローブの信号導体および接地導体を接触させるための誘電体膜非形成領域を設けたときには、より低インピーダンスのパッドを構成することができるためにウェハプローブの特性インピーダンスに近づけることが可能であり、パッド部と整合線路部および引き出し線路部の特性インピーダンスの不連続性が小さくなっていくために、従来のものに比べてより高周波における測定にも適用できる高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0035】この場合、誘電体膜の材料や厚み等は、誘電体基板としてガラス布樹脂系材料、例えばPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）・PPE（ポリフェニレンエーテル）・BT（ビスマレイドトリアジン）・レジ

ン・フッ素・シアネートエステル・フェノール・エポキシ等の樹脂や、ガラス布樹脂系・セラミック複合材料を用いる場合には、例えばエポキシやポリイミドといった誘電体材料を塗布することによって被着形成すればよく、また、その厚みは、塗布する上で困難が生じない範囲であって、導体厚み程度以上あればよい。また、誘電体基板としてセラミック材料を用いる場合には、例えばエポキシやポリイミドといった材料に限らず、セラミック層を印刷工法により形成して基板と同時に焼成することで誘電体膜として形成してもよい。

【0036】なお、誘電体膜非形成領域を設ける場合、ブローピングにおいて困難が生じない範囲で設定すれば良いが、パッド部を構成する信号導体および接地導体の間および上面においても誘電体膜を形成することで、容量性を増すこととなり、よりウェハプローブの特性インピーダンスに近づくこととなるために前述の効果が得られることから、誘電体膜非形成領域はなるべく小さくすることが望ましい。  
【0037】本発明の第8の高周波用ブローピングパッドによれば、第7の高周波用ブローピングパッドにおいて、誘電体膜の誘電率が基板の誘電率よりも大きいものとしたときには、伝送線路の断面で見た場合に、基板内部に分布する電界が減少することとなり、基板の上面の信号導体および接地導体の近傍に電界の分布が多くなることから、低周波と高周波における電界の分布がより近くなるため、周波数に対する特性インピーダンスの変化を



より小さくすることができるために、高周波になっても特性インピーダンスの整合が良好であることから、従来のものに比べてより高周波における測定にも適用できる高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0038】以下、図面に基づいて本発明の高周波用ブローピングパッドを詳細に説明する。

【0039】図1は本発明の第1～第3の高周波用ブローピングパッドについての実施の形態の一例を示す平面図である。図1において、1は信号導体、2はパッド部11において信号導体1の両側に位置するように形成され

た接地導体であり、それぞれ誘電体材料から成る基板（図示せず）の上面に形成している。なお、この誘電体基板の下面の例えば略全面に信号導体1および接地導体2と対向させて導体を形成して下面接地導体（図示せず）とし、上面の接地導体2とはスルーホール導体等の貫通導体（図示せず）を介して電氣的に接続してある。

【0040】この信号導体1および接地導体2は、例えば図1に示すように高周波信号の伝送方向においてその形状を変化させて形成することにより、ウェハブロープ（図示せず）の信号導体および接地導体が要求する寸法に合わせることでこれらを接触させて電氣的に接続可能としたパッド部11と、被測定物（図示せず）から電氣的に接続されて引き出された引き出し線路部13と、これらパッド部11と引き出し線路部13との間で引き出し線路部13のパッド部11側に設けられたインピーダンス整合を行なうための整合線路部14と、さらにパッド部11と整合線路部14との間を電氣的に接続するための接続線路部12とから構成されている。

【0041】そして、信号導体1および接地導体2は、ウェハブロープの特性インピーダンスに対して、パッド部11の特性インピーダンスはそれより大きく、整合線路部14の特性インピーダンスはそれより小さくするとともに、引き出し線路部13の特性インピーダンスはそれとほぼ等しくなるように設定している。

【0042】さらに、信号導体1および接地導体2は、整合線路部14とその前後の接続線路部12とを合わせた線路の電気長を、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下としている。

【0043】このような構成とすることにより、ウェハブロープから見て波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することで、その相互作用によりウェハブロープから見た特性インピーダンスが整合されることとなり、それにより、特性インピーダンスの不整合に起因して入射信号に対して反射が増大したり、特に周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点をなくすることができる。

【0044】次に、図2は本発明の第4～第6の高周波用ブローピングパッドについての実施の形態の一例を示す平面図である。図2において図1と同様の箇所には同

じ符号を付してあり、1は信号導体、2は接地導体、11はパッド部、12は接続線路部、13は引き出し線路部、14は整合線路部である。ここで、接地導体2は、接続線路部12および整合線路部14の信号導体1の両側にそれぞれ延在させて形成されている。

【0045】そして、信号導体1および接地導体2は、ウェハブロープの特性インピーダンスに対して、パッド部11の特性インピーダンスはそれより大きく、整合線路部14の特性インピーダンスはそれより小さくするとともに、引き出し線路部13の特性インピーダンスはそれとほぼ等しくなるように設定している。

【0046】さらに、信号導体1および接地導体2は、整合線路部14とそのパッド部11側の接続線路部12とを合わせた線路の電気長を、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下としている。

【0047】このような構成とすることにより、ウェハブロープから見て波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することで、その相互作用によりウェハブロープから見た特性インピーダンスが整合されることとなり、それにより、特性インピーダンスの不整合に起因して入射信号に対して反射が増大したり、特に周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点をなくすることができる。

【0048】次に、図3は本発明の第7・第8の高周波用ブローピングパッドについての実施の形態の一例を示す平面図である。図3において図1と同様の箇所には同じ符号を付してあり、1は信号導体、2は接地導体、11はパッド部、12は接続線路部、13は引き出し線路部、14は整合線路部である。また、3は基板（図示せず）の上面に信号導体1および接地導体2を覆って形成された誘電体材料から成る誘電体膜であり、4はパッド部11の信号導体1および接地導体2上の誘電体膜3に設けた、ウェハブロープの信号導体および接地導体を当接させるための誘電体膜非形成領域である。

【0049】このように誘電体膜3を形成するとともに誘電体膜非形成領域4を設けることにより、周波数に対するブローピングパッドにおける特性インピーダンスをウェハブロープの特性インピーダンスに近づけることができる結果、特性インピーダンスの変化を小さくすることができ、高周波に対しても特性インピーダンスの整合が良好に行なえるものとなる。

【0050】なお、この例では誘電体膜非形成領域4の形状・大きさ・位置は0.15mm幅のスリット（矩形）を信号導体1の中心とスリットの中心を合わせ、その両隣にも同様のスリットを0.10mmの間隔をおいて設けることで、ウェハブロープの信号導体と接地導体との中心間隔（ピッチ）0.25mmに対応するものとしたが、他にも誘電体膜非形成領域4の形状としては円形や楕円形状・正方形あるいはその組み合わせの形状等としてもよ



い。

【0051】

【実施例】次に、本発明の高周波用ブローピングパッドについて具体例を説明する。

【0052】まず、本発明の第1～第3の高周波用ブローピングパッドの一例として、適用周波数をDC～80GHzとして機能させるために、比誘電率が3.4で厚みが0.20mmの誘電体基板の下面の略全面に導体を形成して下面接地導体とし、上面にはこれに対向させて、厚みを10μmに設定した、信号線幅が0.20mmで接地導体との間隔が0.10mmのパッド部と、信号線幅を0.70mmとした長さが0.10mmの整合線路部と、信号線幅を0.45mmとした長さが0.5mmの引き出し線路部と、パッド部と整合線路部との間を接続する、信号線幅を0.20mmとした長さが0.10mmの接続線路部とを各々形成し、パッド部を高周波信号がウェハプローブの先端から0.05mmの長さだけ伝搬するようにして形成し、図1に示すような形状の本発明の第1～第3の高周波用ブローピングパッドの試料Aを得た。

【0053】また、本発明の第4～第6の高周波用ブローピングパッドの一例として、適用周波数をDC～80GHzとして機能させるために、試料Aと同様に、比誘電率が3.4で厚みが0.20mmの誘電体基板の下面の略全面に導体を形成することで下面接地導体とし、上面にはこれに対向させて、厚みを10μmに設定した、信号線幅が0.20mmで接地導体との間隔が0.10mmのパッド部と、信号線幅が0.70mmで接地導体との間隔を0.10mmとした長さが0.10mmの整合線路部と、パッド部と整合線路部との間を接続する、信号線幅を0.20mmとした長さが0.10mmの接続線路部とを各々形成し、パッド部を高周波信号がウェハプローブの先端から0.05mmの長さだけ伝搬するようにして形成し、図2に示すような形状の本発明の第4～第6の高周波用ブローピングパッドの試料Bを得た。

【0054】さらに、比較例として、比誘電率が3.4で厚みが0.20mmの誘電体基板の下面の略全面に導体を形成することで下面接地導体とし、上面にはこれに対向させて、厚みを10μmに設定した、信号線幅が0.20mmで接地導体との間隔が0.10mmのパッド部と、信号線幅を0.45mmとした長さが0.5mmの引き出し線路部と、パッド部と引き出し線路部との間を接続する、信号導体とパッド部の接地導体との間隔を0.10mm確保した角度45°の直線状の接続線路部とを形成し、パッド部を高周波信号がウェハプローブの先端から0.05mmの長さだけ伝搬するようにして形成し、図4に示すような形状の従来の高周波用ブローピングパッドの試料Cを得た。

【0055】以上の試料A～Cについて、電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出すると、図5に線図で示すような周波数特性の特性曲線が得られた。図5において、横軸は周波数（単位：GHz）、縦軸は入力し

た信号の内の反射された量の評価指標としての反射係数（単位：dB）を示しており、特性曲線は反射係数の周波数特性を示している。また、特性曲線に付記したA・B・Cは各々試料A・B・Cの特性曲線であることを示している。

【0056】この結果から、従来の高周波用ブローピングパッドである試料Cでは、周波数が高くなると反射係数が大きくなり、特性インピーダンスの不整合による反射が生じていることが分かる。一方、本発明の高周波ブローピングパッドである試料A・Bについては、高周波においても反射が小さく、良好な電気的特性を有する高周波用ブローピングパッドであることが分かる。

【0057】次に、試料Aと同一の構成として、整合線路部の幅のみを変化させることによって整合線路部のインピーダンスを変化させることにより、整合部のインピーダンスを変化させた試料を得た。これらの試料について、電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出することにより、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値をインピーダンス比としたときに、ブローピングパッドの性能の目安として、ここでは反射係数が-20dB以下を維持することが可能な最高の周波数を適用可能最高周波数とし、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用可能最高周波数の高周波信号の自由空間波長により除した値を相当波長比として、その依存性を抽出すると、図6に線図で示すような特性曲線が得られた。

【0058】図6において、横軸はインピーダンス比、左縦軸は適用可能最高周波数（単位：GHz）、右縦軸は相当波長比を示しており、黒四角および実線の特性曲線は整合部のインピーダンスを変化させたときの適用可能最高周波数の変化を、×および破線の特性曲線は整合部のインピーダンスを変化させたときの相当波長比の変化を示しており、整合部のインピーダンス変化による高周波用ブローピングパッドの性能を示している。

【0059】この結果から、従来の高周波用ブローピングパッド（試料Cに相当）の適用可能最高周波数が39GHzであるのに比べて、本発明の高周波用ブローピングパッドの試料A・Bではどの試料も黒四角および実線の特性曲線が示すように40GHz以上の適用可能最高周波数を有していることから、いずれの試料も適用可能最高周波数は高周波側に得られており、反射が少ない良好な高周波用ブローピングパッドとして機能していることが分かる。そして、いずれの試料についても、×および破線の特性曲線が示すように0.15以下の相当波長比を有していることから、相当波長比が0.15以下により実現できていることが分かる。また、この結果から、より高周波に適用するためには、整合部のインピーダンス変化に伴う適用可能最高周波数の特性曲線（黒四角および実線曲線）において、より高周波で安定した特性を示す範囲が

存在することが分かり、その範囲から、インピーダンス1比を0.95以上かつ1.07以下とすることが好適であることも分かる。

【0060】また、試料Aと同一の構成として、整合線路部の長さのみを変化させることによって整合線路部の電気長を変化させることにより、整合部の電気長を変化させた試料を得た。これらの試料について、電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出することにより、ブローピングパッドの性能の目安として、ここでも反射係数が $-20\text{ dB}$ 以下を維持することが可能な最高の周波数を適用可能最高周波数とし、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用可能最高周波数の高周波信号の自由空間波長により除した値を相当波長比として、その依存性を抽出すると、図7に線図で示すような特性曲線が得られた。

【0061】図7において、横軸は適用可能最高周波数（単位：GHz）、縦軸は相当波長比を示しており、実線にて適用可能最高周波数特性を示し、黒四角および実線の特性曲線は整合部の電気長変化による高周波用ブローピングパッドの性能を示している。

【0062】この結果から、適用可能最高周波数が下がると、相当波長比の基準の波長が長くなることになるが、その基準の波長に対する整合部+接続部の電気長の比は一定していることから、整合部の電気長が長くなることにより、適用可能最高周波数が低下することが分かり、さらには、その適用可能最高周波数における相当波長比はほぼ一定の傾向を示しており、適用可能最高周波数をより高い周波数に設定することによって、製造上の困難がなく安定して高性能を得ることができることとなるために、この結果から、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用する最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1（相当波長比0.125以下）にすることで、より確実な整合が行なえることが分かる。

【0063】次に、試料Bと同一の構成として、整合線路部の幅のみを変化させることによって整合線路部のインピーダンスを変化させることにより、整合部のインピーダンスを変化させた試料を得た。これらの試料について、電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出することにより、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値をインピーダンス比としたときに、ブローピングパッドの性能の目安として、ここでも反射係数が $-20\text{ dB}$ 以下を維持することが可能な最高の周波数を適用可能最高周波数とし、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用可能最高周波数の高周波信号の自由空間波長により除した値を相当波長比として、その依存性を抽出すると、図8に線図で示すような特性曲線が得られた。

【0064】図8において、横軸はインピーダンス比、左縦軸は適用可能最高周波数（単位：GHz）、右縦軸

は相当波長比を示しており、黒四角および実線にて適用可能最高周波数特性を示し、破線にて相当波長比特性を示し、整合部のインピーダンス変化による高周波用ブローピングパッドの性能を示している。

【0065】この結果から、従来の高周波用ブローピングパッド（試料Cに相当）の適用最高周波数が39GHzであるのに比べて、本発明の高周波用ブローピングパッドの試料A・Bではどの試料も黒四角および実線の特性曲線が示すように40GHz以上の適用可能最高周波数を有していることから、いずれの試料も適用最高周波数は高周波側に得られており、反射が少ない良好な高周波用ブローピングパッドとして機能していることが分かる。そして、どの試料も $\times$ および破線の特性曲線が示すように0.15以下の相当波長比を有していることから、いずれの試料についても、相当波長比が0.15以下により実現できていることが分かる。また、この結果から、より高周波に適用するためには、整合部のインピーダンス変化に伴う適用可能最高周波数の特性曲線（黒四角および実線曲線）において、より高周波で安定した特性を示す範囲が存在することが分かり、その範囲から、インピーダンス比を0.90以上かつ1.02以下とすることが好適であることも分かる。

【0066】また、試料Bと同一の構成として、整合線路部の長さのみを変化させることによって整合線路部の電気長を変化させることにより、整合部の電気長を変化させた試料を得た。これらの試料について、電気的特性を電磁界シミュレーションにより抽出することにより、ブローピングパッドの性能の目安として、ここでも反射係数が $-20\text{ dB}$ 以下を維持することが可能な最高の周波数を適用可能最高周波数とし、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用可能最高周波数の高周波信号の自由空間波長により除した値を相当波長比として、その依存性を抽出すると、図9に線図で示すような特性曲線が得られた。

【0067】図9において、横軸は適用可能最高周波数（単位：GHz）、縦軸は相当波長比を示しており、黒四角および実線の特性曲線は整合部の電気長変化による高周波用ブローピングパッドの性能を示している。

【0068】この結果から、整合部の電気長が長くなることにより適用可能最高周波数が低下することが分かり、さらには、その適用可能最高周波数における相当波長比はほぼ一定の傾向を示しており、適用可能最高周波数をより高い周波数に設定することによって、製造上の困難がなく安定して高性能を得ることができることとなるために、この結果から、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用する最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1（相当波長比0.125以下）にすることで、より確実な整合が行なえることが分かる。

【0069】また、試料Aに対して比誘電率が4.4で厚みが $20\mu\text{ m}$ の誘電体膜を基板の上面の略全面を覆うよう

に形成するとともに、ウェハブローブの信号導体および接地導体が接触する部位には誘電体膜を形成しない誘電体膜非形成領域を設けることにより、図3に示すような試料を得た。この試料について同様に評価した結果、試料Aと同等の適用可能最高周波数を有する良好な低反射特性を示した。

【0070】以上により、本発明の高周波用ブローピングパッドによれば、ブローピングパッドの形状設定にウェハブローブからの制限がある場合においても、整合線路部を設けることにより、高周波においても特性インピーダンスの良好な整合が可能であることが確認できた。

【0071】なお、以上はあくまで本発明の実施の形態の例示であって、本発明はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更や改良を加えることは何ら差し支えない。

【0072】例えば、パッド部と整合線路部または整合線路部と引き出し線路部の間に直線状に信号線幅を変化させた線路部を設けて接続線路部としてもよく、この場合の接続部はテーパー状に形成され、接続線路部として構成要素となる。

【0073】また、例えば、整合線路部を信号線路から分岐した開放端のスタブ線路として形成してもよく、この場合も、信号線路のインピーダンスが小さくなることから、同等の接続線路部となる。

【0074】

【発明の効果】以上のように、本発明の第1の高周波用ブローピングパッドによれば、誘電体材料から成る基板の下面に下面接地導体を形成するとともに上面に下面接地導体に対向させて信号導体を形成して成り、この信号導体は、その両側に接地導体が形成されて信号導体および接地導体にコプレーナ線路構造のウェハブローブの信号導体および接地導体をそれぞれ接触させるパッド部と、被測定物から電氣的に接続されて引き出された引き出し線路部と、引き出し部のパッド部側に設けられた整合線路部と、パッド部の信号導体と整合線路部との間を電氣的に接続する接続線路部とから構成されており、かつパッド部の特性インピーダンスをウェハブローブよりも大きく、整合線路部の特性インピーダンスをウェハブローブよりも小さくするとともに、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長を適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の0.16倍以下としたことから、ウェハブローブから見て最高周波数の高周波信号の自由空間波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することでその相互作用によりウェハブローブから見た特性インピーダンスを整合させることが可能となるので、その結果、入射信号に対して反射が増大するという問題点や、周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点を解決することができる。

【0075】また、本発明の第2の高周波用ブローピングパッドによれば、第1の高周波用ブローピングパッドにおいて、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.95以上1.07以下であるものとしたときには、インピーダンス整合に必要な素子値の近傍に整合線路部の特性インピーダンスを維持することができるため、特性インピーダンスの整合が確実になされるので、より低反射特性の高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0076】さらに、本発明の第3の高周波用ブローピングパッドによれば、第2の高周波用ブローピングパッドにおいて、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下であるものとしたときには、適用される最高周波数においてもその長さのインピーダンスの不連続性はインピーダンス整合として働き、不要な回路素子として見えることがなくなる傾向があり、より確実にインピーダンス整合を行なうことができる高周波用ブローピングパッドとなる。

【0077】また、本発明の第4の高周波用ブローピングパッドによれば、第1の高周波用ブローピングパッドにおいて、パッド部の信号導体の両側に形成された接地導体を接続線路部および整合線路部の信号導体の両側に延在させたことから、第1の高周波用ブローピングパッドと同様に、ウェハブローブから見て最高周波数の高周波信号の自由空間波長に対して十分に短い電気長の範囲において特性インピーダンスが大きい部位と特性インピーダンスが小さい部位とが存在することでその相互作用によりウェハブローブから見た特性インピーダンスを整合させることが可能となるので、その結果、入射信号に対して反射が増大するという問題点や、周波数が高くなるにつれて高周波信号の伝搬が不十分となるという問題点を解決することができる。

【0078】また、本発明の第5の高周波用ブローピングパッドによれば、第4の高周波用ブローピングパッドにおいて、パッド部の特性インピーダンスと整合線路部の特性インピーダンスとの相乗平均値を引き出し線路部の特性インピーダンス値により除した値が0.90以上1.02以下であるものとしたときには、インピーダンス整合に必要な素子値の近傍に整合線路部の特性インピーダンスを維持することができるため、特性インピーダンスの整合が確実になされるので、より低反射特性の高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0079】さらに、本発明の第6の高周波用ブローピングパッドによれば、第5の高周波用ブローピングパッドにおいて、接続線路部と整合線路部とを合わせた電気長が、適用される最高周波数の高周波信号の自由空間波長の8分の1以下であるものとしたときには、適用される最高周波数においてもその長さのインピーダンスの不

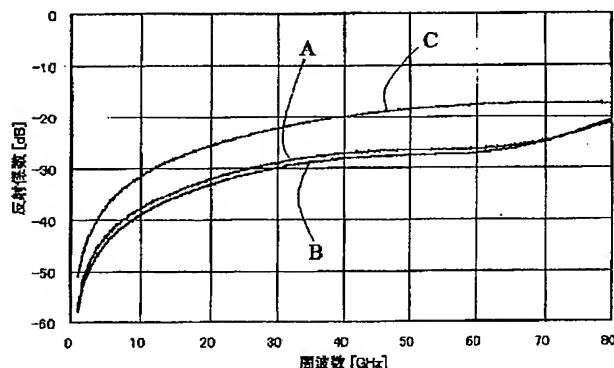
連続性はインピーダンス整合として働き、不要な回路素子として見えることがなくなる傾向があり、より確実にインピーダンス整合を行なうことができる高周波用ブローピングパッドとなる。

【0080】また、本発明の第7の高周波用ブローピングパッドによれば、第1乃至第6のいずれかの高周波用ブローピングパッドにおいて、基板の上面に信号導体および接地導体を覆って誘電体材料から成る誘電体膜を形成するとともに、パッド部の信号導体および接地導体上の誘電体膜に、ウェハブロープの信号導体および接地導体を接触させるための誘電体膜非形成領域を設けたときには、より低インピーダンスのパッドを構成することができるためにウェハブロープの特性インピーダンスに近づけることが可能であり、パッド部と整合線路部および引き出し線路部の特性インピーダンスの不連続性が小さくなるために、従来のものに比べてより高周波における測定にも適用できる高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0081】さらに、本発明の第8の高周波用ブローピングパッドによれば、第7の高周波用ブローピングパッドにおいて、誘電体膜の誘電率が基板の誘電率よりも大きいものとしたときには、伝送線路の断面で見た場合に、基板内部に分布する電界が減少することとなり、基板の上面の信号導体および接地導体の近傍に電界の分布が多くなることから、低周波と高周波における電界の分布がより近くなるため、周波数に対する特性インピーダンスの変化をより小さくすることができるために、高周波になっても特性インピーダンスの整合が良好であることから、従来のものに比べてより高周波における測定にも適用できる高周波用ブローピングパッドとすることができる。

【0082】以上により、本発明によれば、ブローピングパッドの形状設定に制限がある場合においても、高周波においてもウェハブロープとのインピーダンス整合を行なうことが可能で、高周波特性の正確な測定が可能な\*

【図5】



\* 高周波用ブローピングパッドを提供することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1～第3の高周波用ブローピングパッドの実施の形態の一例を示す平面図である。

【図2】本発明の第4～第6の高周波用ブローピングパッドの実施の形態の一例を示す平面図である。

【図3】本発明の第7・第8の高周波用ブローピングパッドの実施の形態の一例を示す平面図である。

【図4】従来の高周波用ブローピングパッドの一例を示す平面図である。

【図5】高周波用ブローピングパッドの反射係数の周波数特性を比較した線図である。

【図6】本発明の高周波用ブローピングパッドにおけるインピーダンス比に対する適用可能最高周波数および相当波長比を示す線図である。

【図7】本発明の高周波用ブローピングパッドにおける適用可能最高周波数に対する相当波長比を示す線図である。

【図8】本発明の高周波用ブローピングパッドにおけるインピーダンス比に対する適用可能最高周波数および相当波長比を示す線図である。

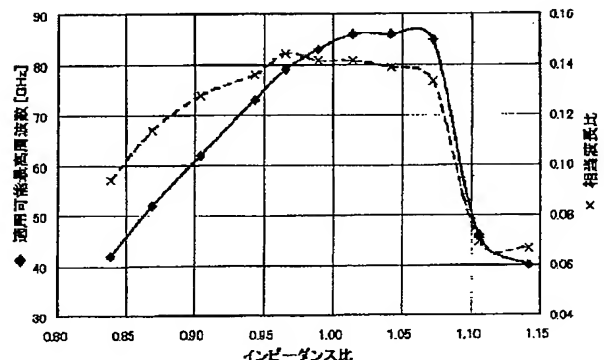
【図9】本発明の高周波用ブローピングパッドにおける適用可能最高周波数に対する相当波長比を示す線図である。

【図10】従来の高周波用ブローピングパッドの反射係数の周波数特性を示す線図である。

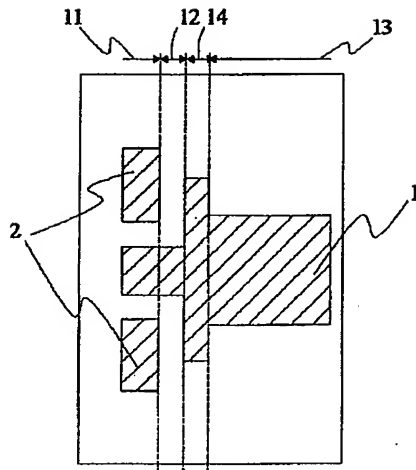
【符号の説明】

- 1 . . . . . 信号導体
- 2 . . . . . 接地導体
- 3 . . . . . 誘電体膜
- 4 . . . . . 誘電体膜非形成領域
- 11 . . . . . パッド部
- 12 . . . . . 接続線路部
- 13 . . . . . 引き出し線路部
- 14 . . . . . 整合線路部

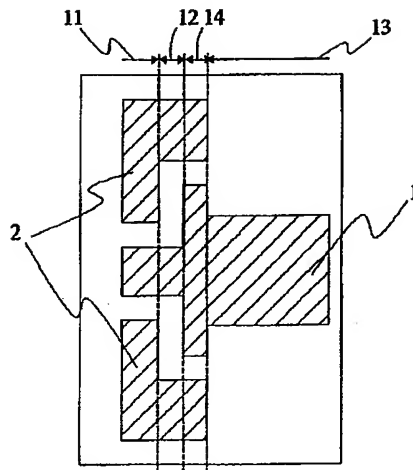
【図6】



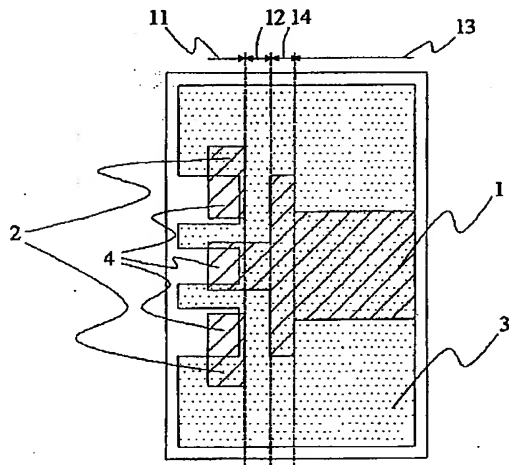
【図1】



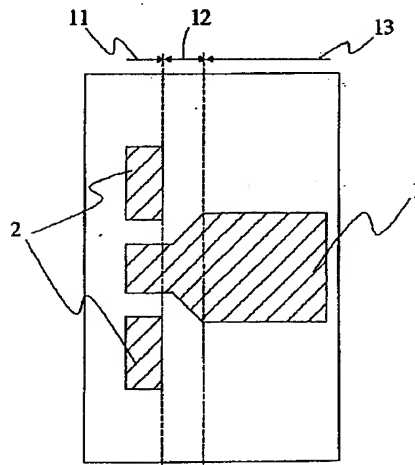
【図2】



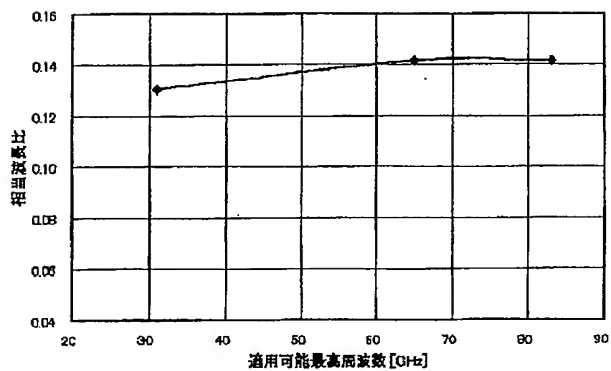
【図3】



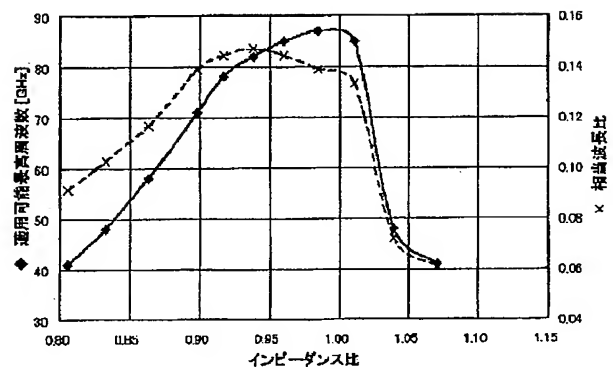
【図4】



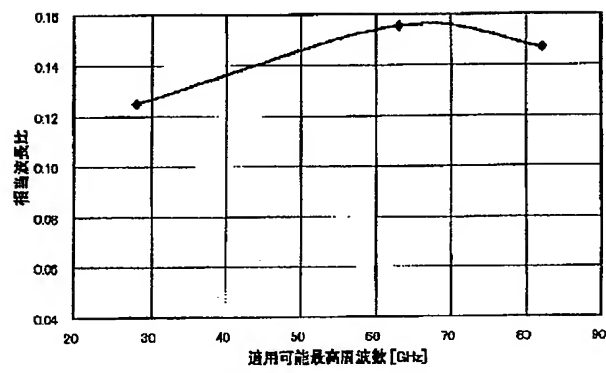
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

